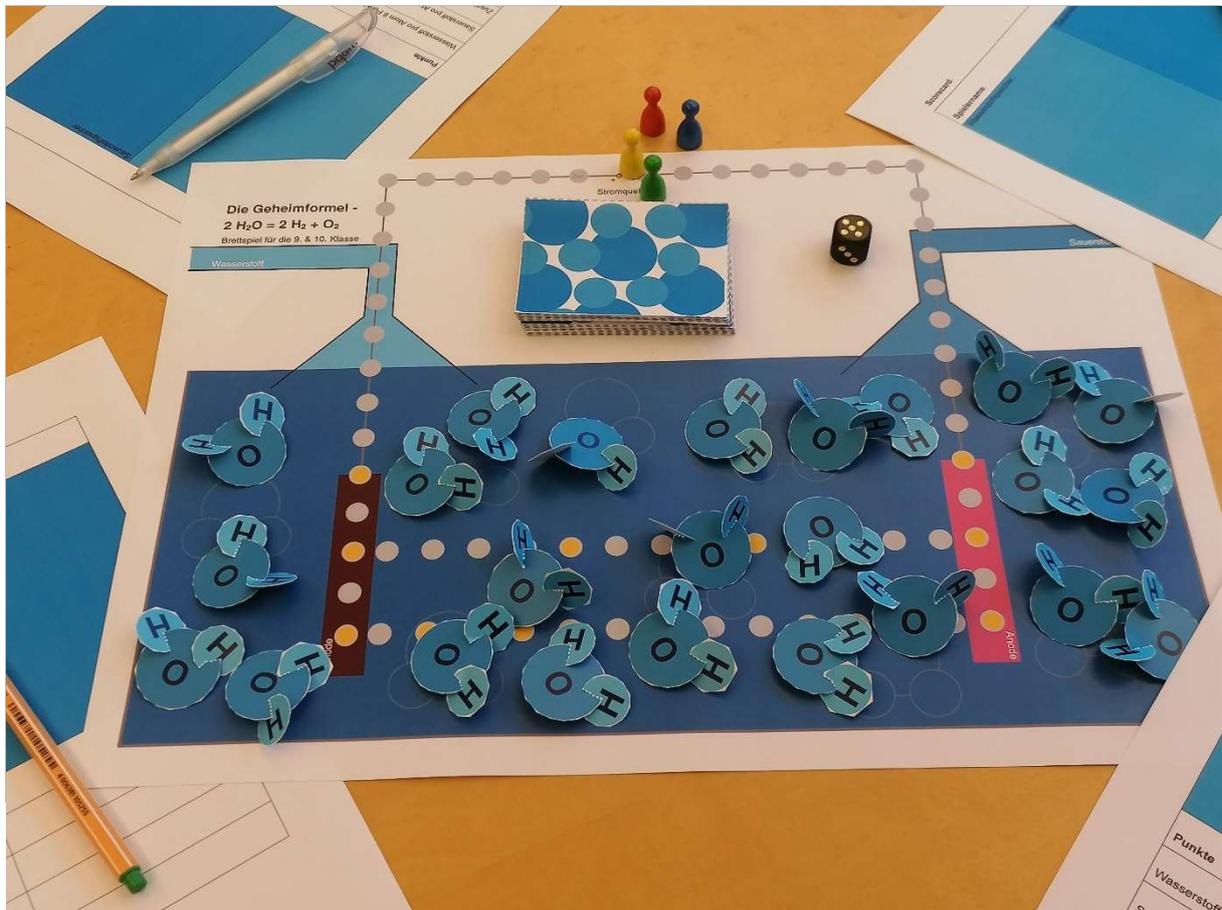


Die Geheimformel - $2 \text{H}_2\text{O} = 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$

Brettspiel für die 9. & 10. Klasse



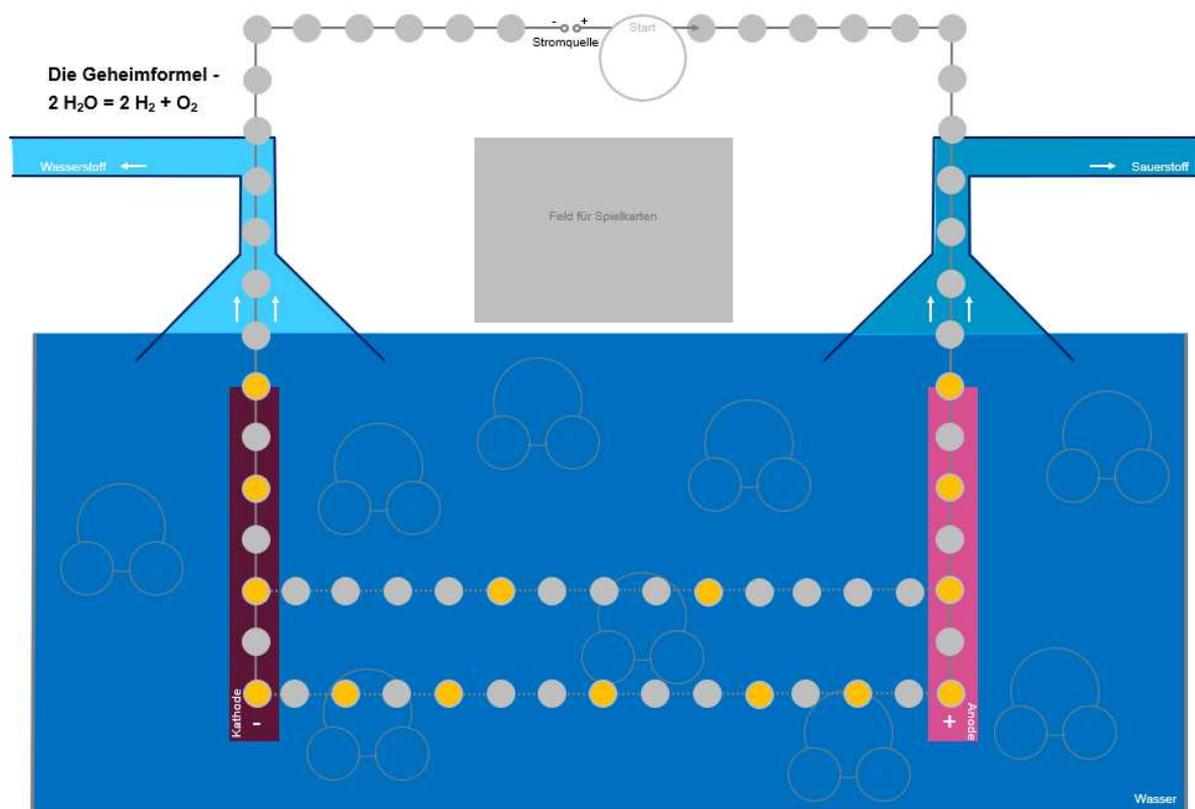
Inhaltsverzeichnis

Ziel	2
Spielausstattung	2
Vorbereitung	3
Spielkarten zum Ausschneiden	5
Wasseratome zum Ausschneiden	16
Scorecard	17
Hintergrundinformation	18

In dem Brettspiel geht es darum, Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen.
Es gewinnt der/die Spieler*in, der/die die meisten Punkte auf seiner Scorecard hat.

Spielausstattung:

- 1 Spielplan
- je 1 Spielfigur in 4 Farben
- 22 Spielkarten
- 4 Scorecards
- 4 Stifte
- 1 Würfel



Spielplan in A3:

Siehe anliegende Datei spielplan.pdf

Vorbereitung:

Als erstes druckt man die vorliegende Datei in DinA4 und „Spielplan“ in DinA3 in Farbe aus. Die Wasserstoff- und Sauerstoffatome (Seite 15) werden ausgeschnitten und zusammengesteckt. Sie werden stabiler, wenn man diese Seite auf etwas dickeres Papier druckt.

Die Spielkarten werden ebenfalls ausgeschnitten, gefaltet, zusammengeklebt und mit der Rückseite nach oben auf den Spielplan gelegt.

Der Spielplan kommt in die Mitte zwischen die Spieler, so dass jeder einen guten Zugang hat. Außerdem erhält jede*r Spieler*in eine Figur in der Farbe seiner Wahl.



Die Figuren werden auf das Startfeld gestellt.

Beginn:

Anfangen darf der/die jüngste Spieler*in der Runde, anschließend wird der Reihe nach im Uhrzeigersinn weitergespielt.

Spielverlauf (bitte für alle laut vorlesen):

Die Spieler*in, die gerade an der Reihe ist, würfelt einmal. Bei einer Sechs darf noch einmal gewürfelt werden. Die Spielfiguren sind hier die Elektronen, die durch den Stromkreis laufen. Kommen die Spielfiguren in den Elektroden an (es beginnt mit der Anode), startet theoretisch die Redoxreaktion. Kommt eine Spielfigur auf einem orangenen Punkt zum Stehen, nimmt die Spieler*in eine Spielkarte vom Stapel, liest sie laut vor, führt die Anweisungen aus und sammelt H- und O-Atome für ihre Speicher auf der Scorecard.

Wichtig für den Spielverlauf ist, dass man sich das Prinzip der Reduktions-Oxidations-Reaktion (Redoxreaktion) klar macht. Sie ist eine chemische Reaktion bei der unter Einsatz von Strom z.B. Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) zerlegt wird. Dabei überträgt ein Reaktionspartner Elektronen auf seinen Reaktionspartner, z.B. gibt Wasserstoff Elektronen ab und Sauerstoff nimmt

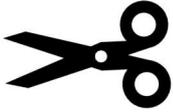
Elektronen auf. In der Folge wandert der Wasserstoff zum negativ geladenen und der Sauerstoff zum positiv geladenen Pol. Die eingesetzte elektrische Energie wird also in chemische umgewandelt und im Wasserstoff gespeichert. Die Spieler*innen schauen sich dazu den Spielplan noch einmal genau an.

Die Spielfiguren können auf zwei Wegen durch das Wasser wandern. Der erste Weg ist kürzer, auf dem zweiten gibt es mehr Aktionsfelder auf denen Punkte gesammelt werden können. Jede*r Spieler*in entscheidet für sich, welchen Weg er/sie wählt. Läuft die Spielfigur über die Stromquelle darf sich die Spieler*in pro Spielrunde zusätzlich 20 Punkt auf ihrer Scorecard gutschreiben.

Spielende:

Das Spiel ist zu Ende, wenn alle Moleküle gespeichert sind. Jetzt wird die Scorecard ausgewertet. Der/die Spieler*in mit den meisten Punkten hat gewonnen.

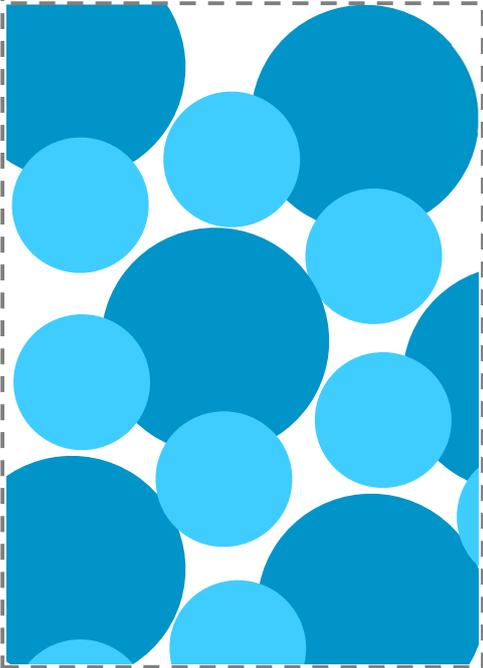
Spielkarten zum Ausschneiden, Falten und Kleben



- | +

Unter Wasserelektrolyse versteht man die Zerlegung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mit Hilfe von elektrischem Strom.

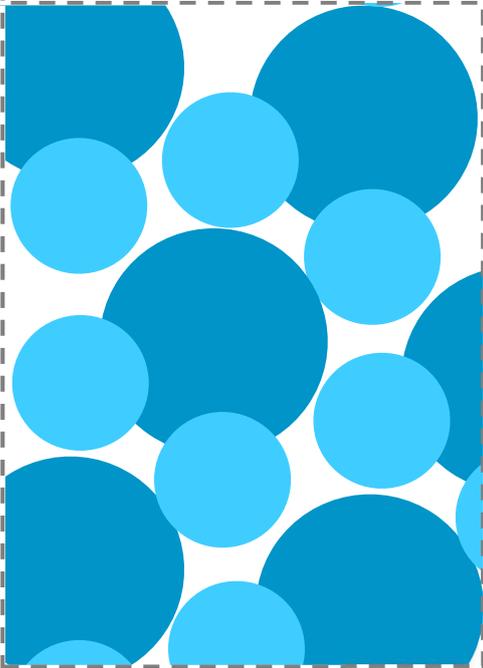
Zerlege ein Wassermolekül und lege die Atome an die richtige Elektrode. Nimm Dir vier Wasserstoffatome und zwei Sauerstoffatome in deine Speicher.

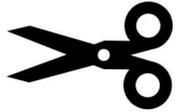


- | +

Die wichtigste Anwendung der Elektrolyse ist die Gewinnung von Wasserstoff.

Zerlege ein Wassermolekül und lege die Atome an die richtige Elektrode. Nimm Dir zwei Wasserstoffatome in deinen Speicher.

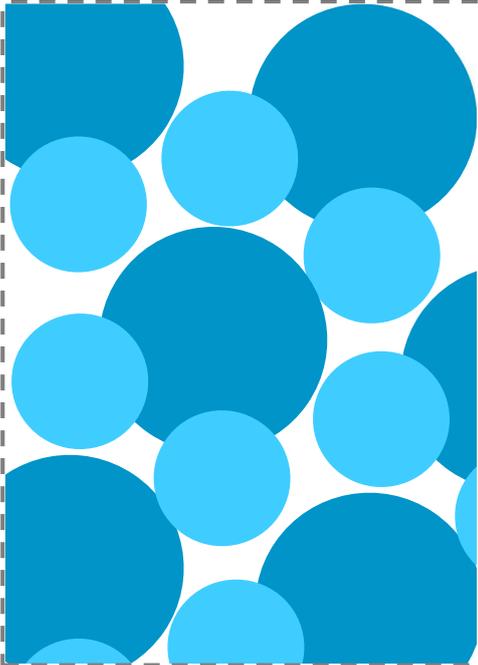




- +

Wasserstoff ist 14-mal leichter als Luft, weder giftig, noch ätzend oder radioaktiv, entzündet sich nicht selbst und verbrennt mit farbloser Flamme rückstandsfrei.

Zerlege ein Wassermolekül und lege die Atome an die richtige Elektrode. Nimm Dir zwei Sauerstoffatome in deinen Speicher.

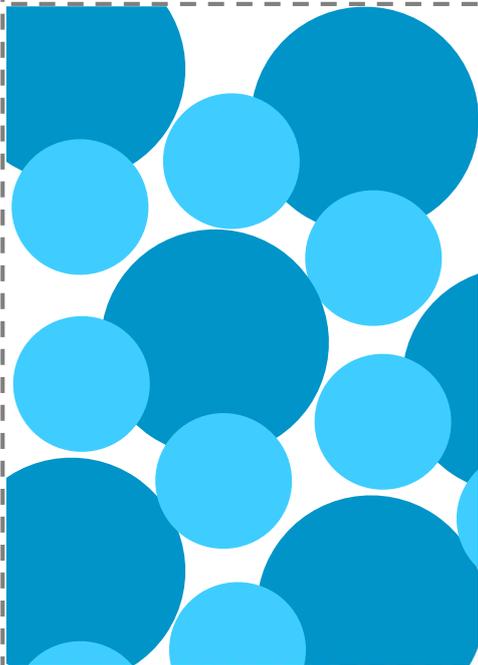


⊗

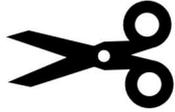
- +

Die Elektroden tauchen bei der Elektrolyse in Wasser ein, welches durch die Zugabe von etwas Säure, bevorzugt Schwefelsäure, oder Lauge besser leitend gemacht wird.

Nimm Dir zwei Sauerstoffatome in deinen Speicher.



⊗

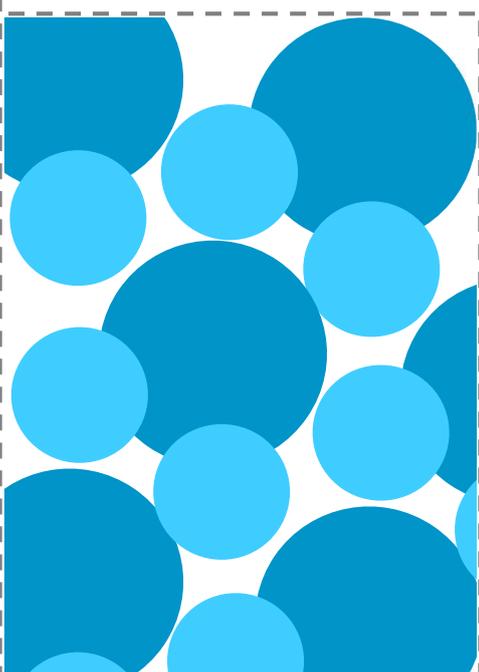


- | +

Die Verwendung von Kochsalz als Elektrolyt ist möglich, allerdings entsteht dann neben Sauerstoff auch Chlor.

Zerlege ein Wassermolekül und lege die Atome an die richtige Elektrode. Nimm Dir zwei Sauerstoffatome in deinen Speicher.

⊗

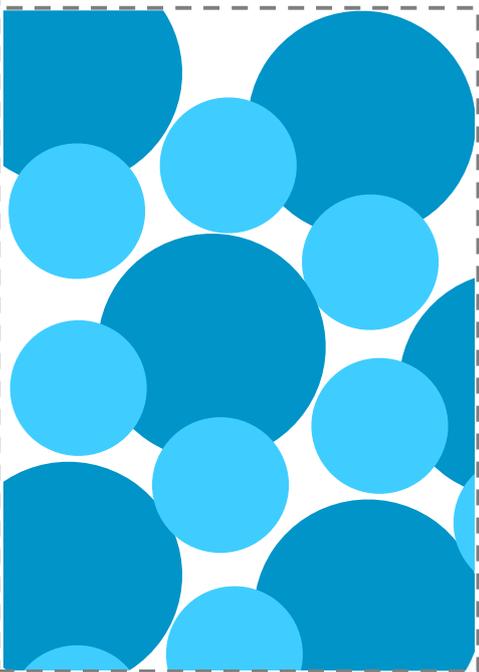


- | +

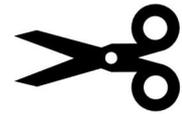
Brennstoffzellen sind Energiewandler, die die chemische Reaktionsenergie eines Brennstoffes (Wasserstoff) und eines Oxidationsmittels (Sauerstoff) in elektrische Energie wandeln.

Zerlege ein Wassermolekül. Nimm Dir zwei Sauerstoffatome in deinen Speicher.

⊗







- | +

Durch die großtechnische Nutzung von künstlichem Methan könnten die bestehenden Erdgasleitungen, Speicher und Endgeräte ohne Umbau weiter genutzt werden.

Zerlege ein Wassermolekül und lege die Atome an die richtige Elektrode. Nimm Dir zwei Wasserstoffatome in deinen Speicher.

⊗

- | +

Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien, wird die Wasserelektrolyse als Herstellungsverfahren von Wasserstoff als Speichermedium immer wichtiger.

Nimm Dir vier Wasserstoffatome in deinen Speicher.

⊗

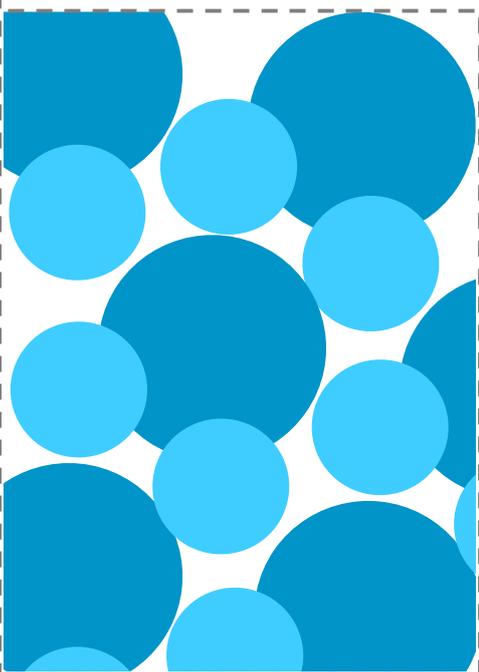




- +

Wasserstoff (H) ist ein chemisches Element und in gebundener Form Bestandteil fast aller organischen Verbindungen. Unter normalen Umweltbedingungen kommt Wasserstoff in molekularer Form (H_2) als farb- und geruchloses Gas vor.

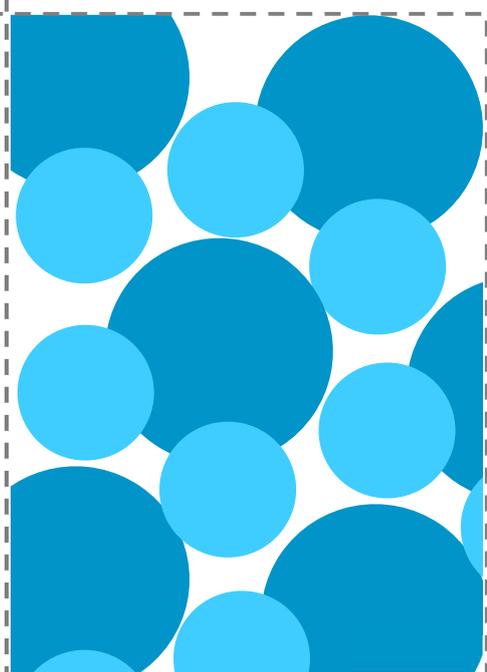
Nimm Dir zwei Wasserstoffatome in deinen Speicher.

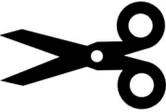


- +

Wasserstoff kann in Reinform in der chemischen Industrie, im Verkehrssektor und Gebäudesektor als Kraft- und Brennstoff zum Einsatz kommen oder (in gewissen Grenzen) dem Erdgas beigemischt werden.

Nimm Dir zwei Wasserstoffatome in deinen Speicher.

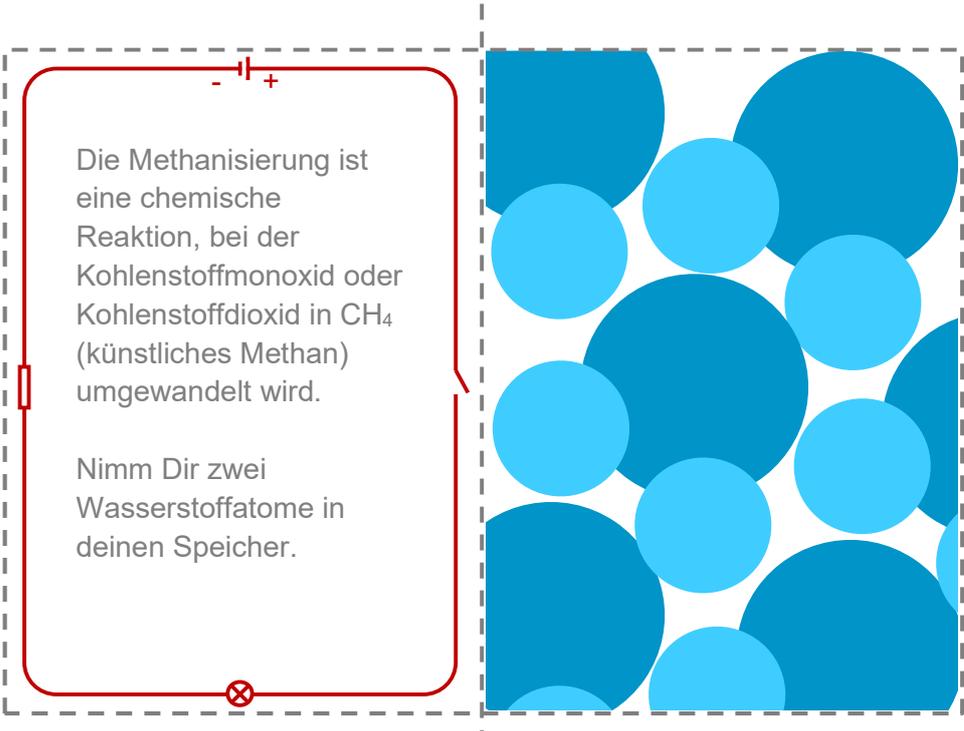




- +

Die Methanisierung ist eine chemische Reaktion, bei der Kohlenstoffmonoxid oder Kohlenstoffdioxid in CH_4 (künstliches Methan) umgewandelt wird.

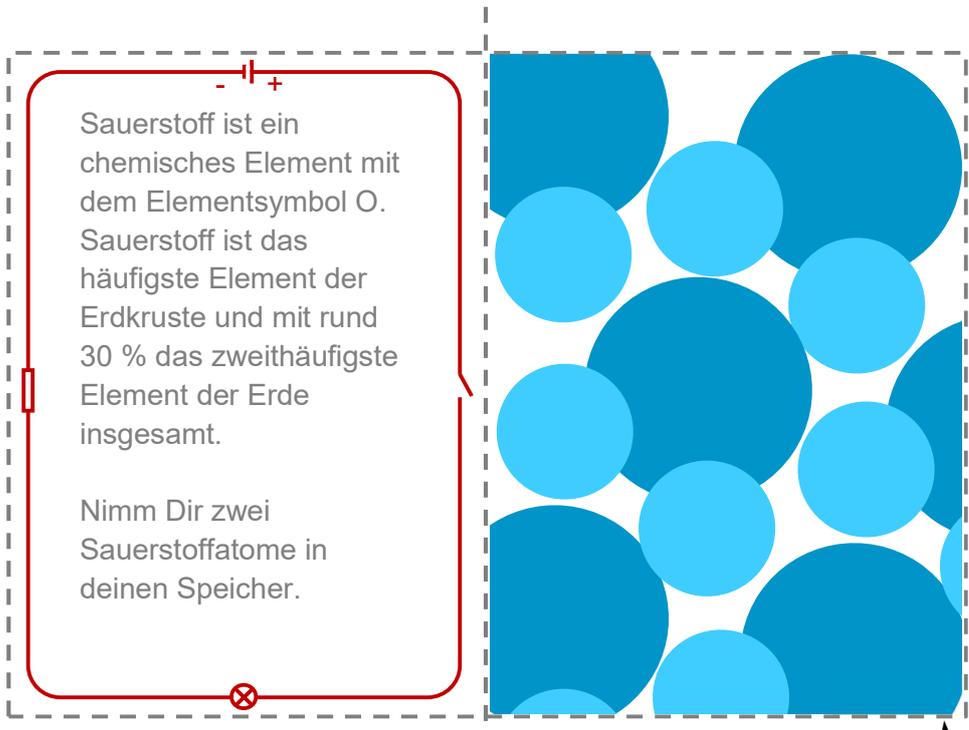
Nimm Dir zwei Wasserstoffatome in deinen Speicher.



- +

Sauerstoff ist ein chemisches Element mit dem Elementsymbol O. Sauerstoff ist das häufigste Element der Erdkruste und mit rund 30 % das zweithäufigste Element der Erde insgesamt.

Nimm Dir zwei Sauerstoffatome in deinen Speicher.

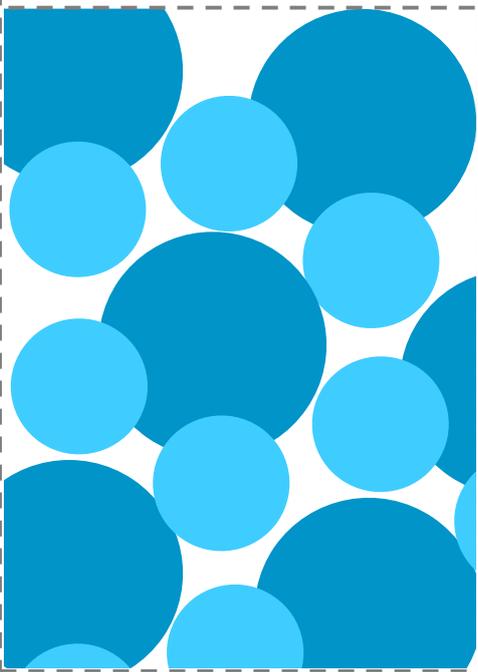




- +

Wird beim Elektrolysevorgang Strom aus erneuerbaren Quellen eingesetzt, ist die Herstellung des Wasserstoffs komplett CO₂-frei, da neben dem erzeugten Wasserstoff lediglich Sauerstoff anfällt.

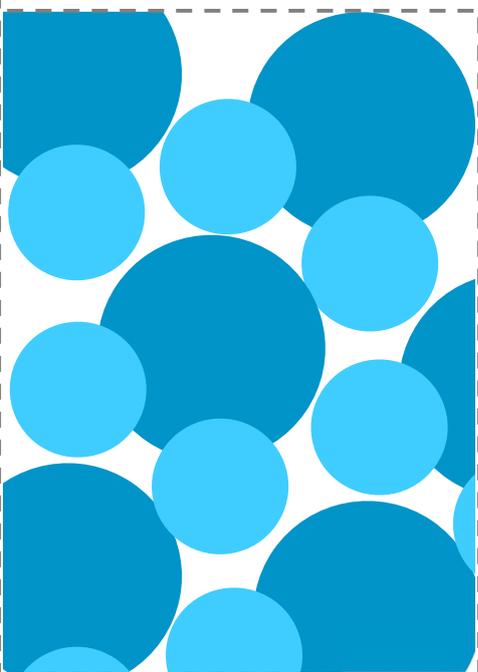
Nimm Dir vier Wasserstoff in deinen Speicher.



- +

Die Redoxreaktion ist eine chemische Reaktion, bei der ein Reaktionspartner Elektronen auf einen anderen Reaktionspartner überträgt

Nimm Dir zwei Wasserstoffatome und zwei Sauerstoffatome in deine Speicher.

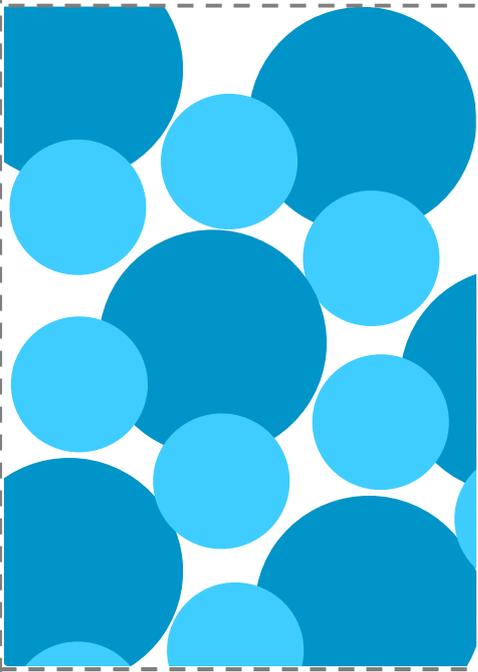


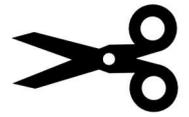
- | +

Methan ist eine chemische Verbindung mit der Summenformel CH_4 . Das farb-, geruchlose und brennbare Gas kommt in der Natur vor und ist der Hauptbestandteil von Erdgas.

Nimm Dir vier Wasserstoffatome in deinen Speicher.

⊗





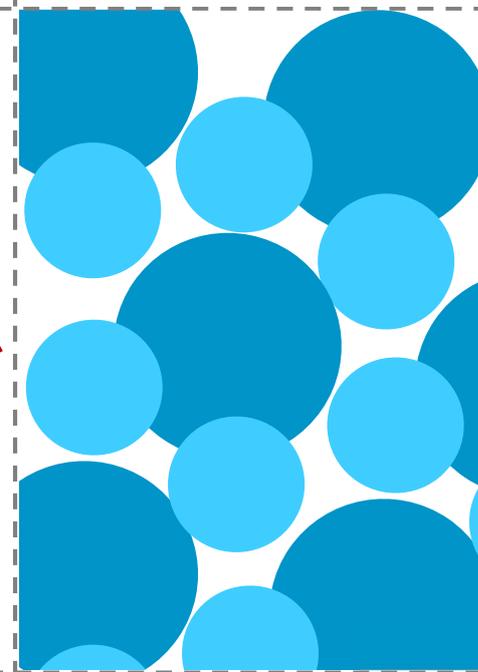
- | +

Wasserstoff ist ein vielseitig nutzbarer Energieträger, für den es unterschiedliche Anwendungen gibt. Kennst Du eine?

Nimm Dir zwei Wasserstoffatome in deinen Speicher.

⊗

als Treibstoff im Verkehrssektor;
als Grundstoff für Chemikalien;
in der Stahl- und Metallverarbeitung;
in der Zement-, Glas und Keramikherstellung;
bei der Strom- und Wärmeerzeugung

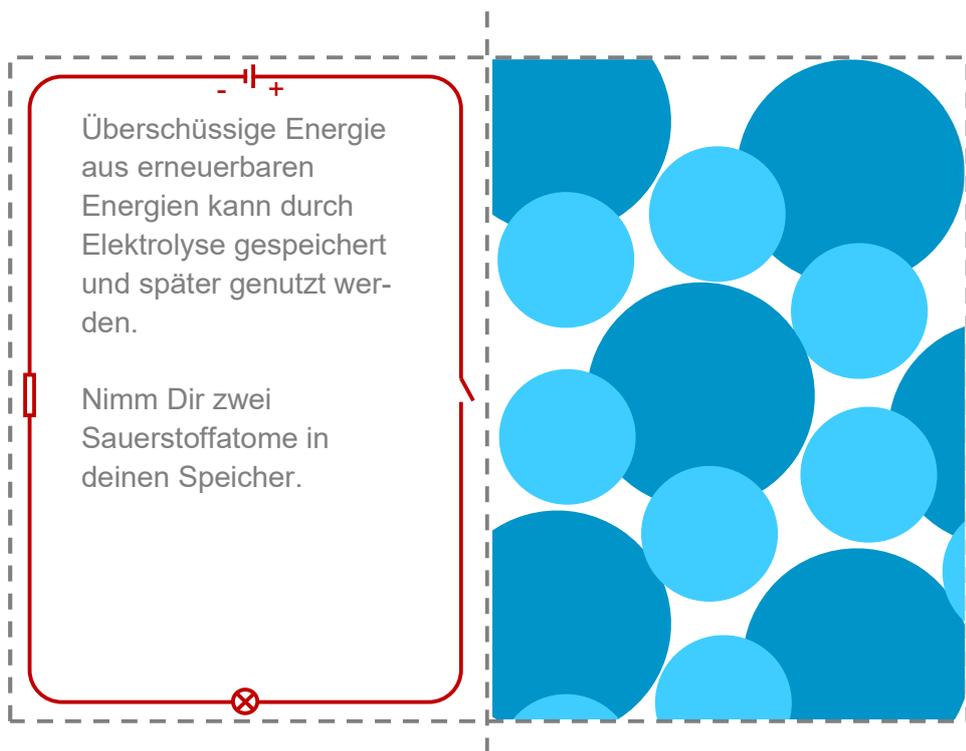






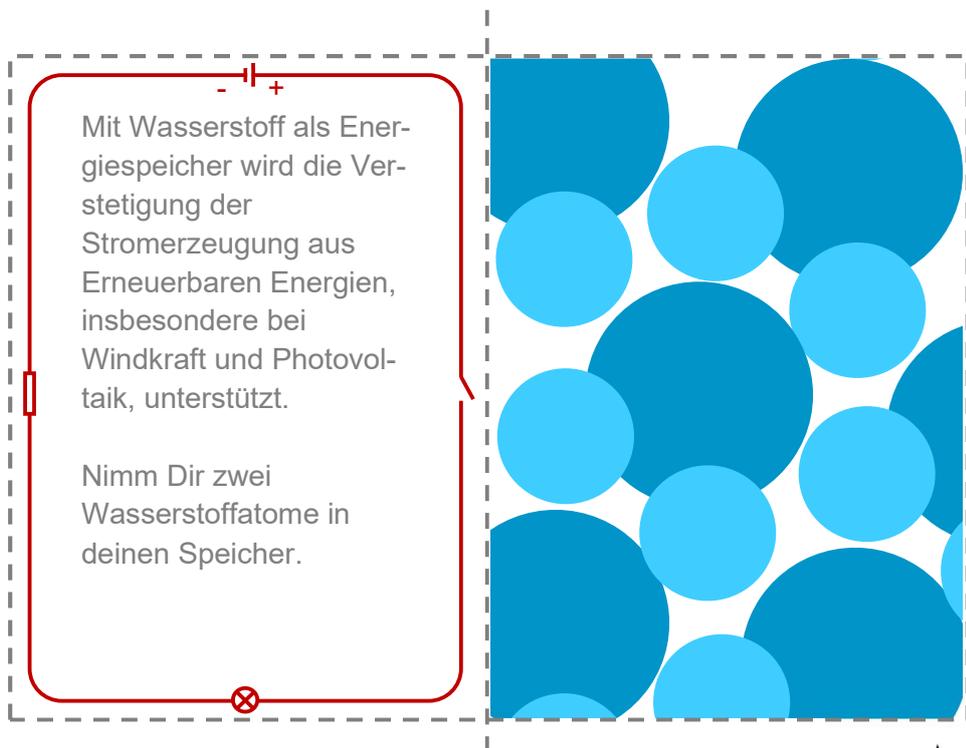
Überschüssige Energie aus erneuerbaren Energien kann durch Elektrolyse gespeichert und später genutzt werden.

Nimm Dir zwei Sauerstoffatome in deinen Speicher.



Mit Wasserstoff als Energiespeicher wird die Verstärkung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien, insbesondere bei Windkraft und Photovoltaik, unterstützt.

Nimm Dir zwei Wasserstoffatome in deinen Speicher.



- | +

Die Elektrolyse von Wasser besteht aus zwei Teilreaktionen, die an den beiden Elektroden (Kathode und Anode) ablaufen.

Zerlege ein Wassermolekül und lege die Atome an die richtige Elektrode. Nimm Dir zwei Wasserstoffatome und zwei Sauerstoffatome in deine Speicher.



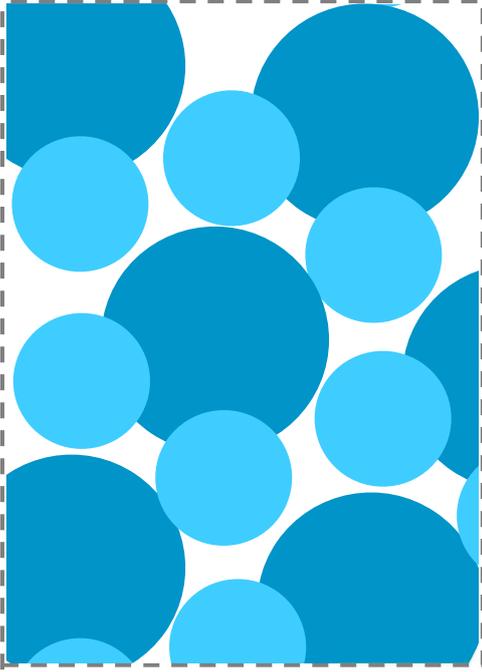
A diagram showing several water molecules (H₂O) represented by blue circles of different sizes. The larger circles represent oxygen atoms, and the smaller circles represent hydrogen atoms. The molecules are arranged in a way that suggests they are being broken down into their constituent atoms.



- | +

Eine Elektrode (Anode oder Kathode) ist Teil eines Stromkreises, an dem elektrischer Strom in chemische Energie umgewandelt wird.

Zerlege ein Wassermolekül und lege die Atome an die richtige Elektrode. Nimm Dir zwei Wasserstoffatome und zwei Sauerstoffatome in deine Speicher.



A diagram showing several water molecules (H₂O) represented by blue circles of different sizes. The larger circles represent oxygen atoms, and the smaller circles represent hydrogen atoms. The molecules are arranged in a way that suggests they are being broken down into their constituent atoms.

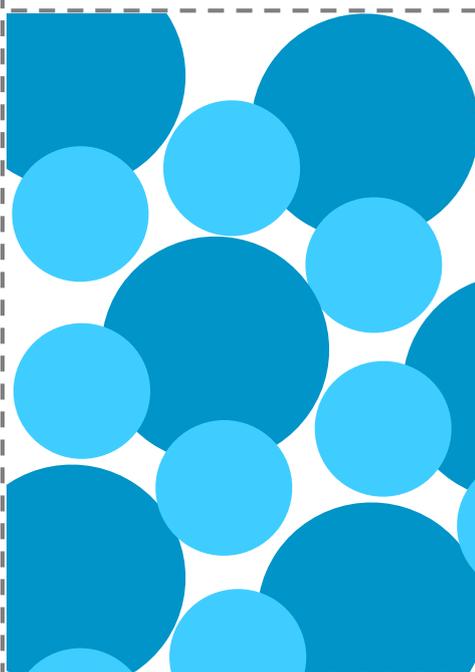


- | +

Wasser ist die einzige chemische Verbindung auf der Erde, die in der Natur als Flüssigkeit, als Festkörper (Eis) und als Gas (Wasserdampf) vorkommt. Wasser ist Grundlage des Lebens auf der Erde.

Nimm Dir zwei Wasserstoffatome und zwei Sauerstoffatome in deine Speicher.

⊗

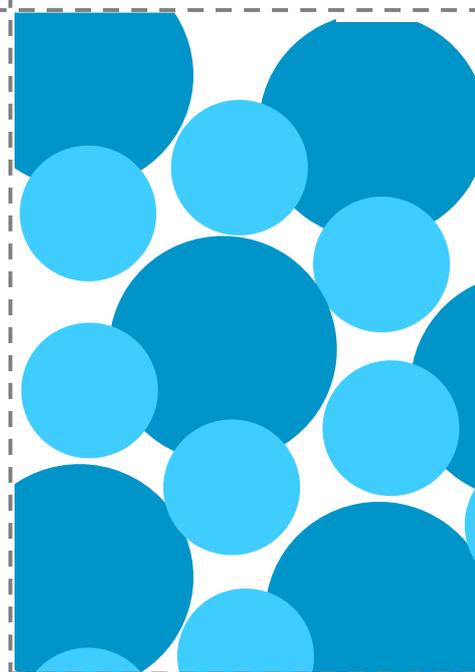


- | +

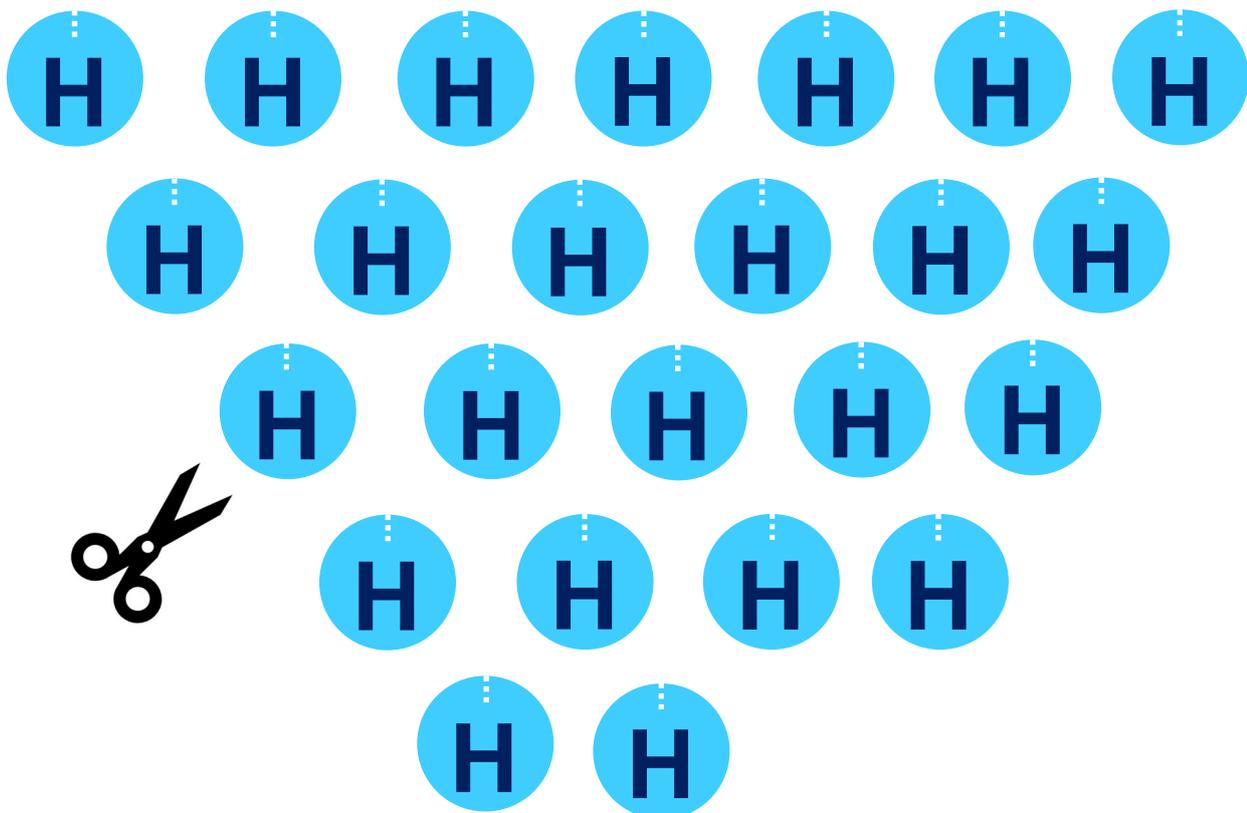
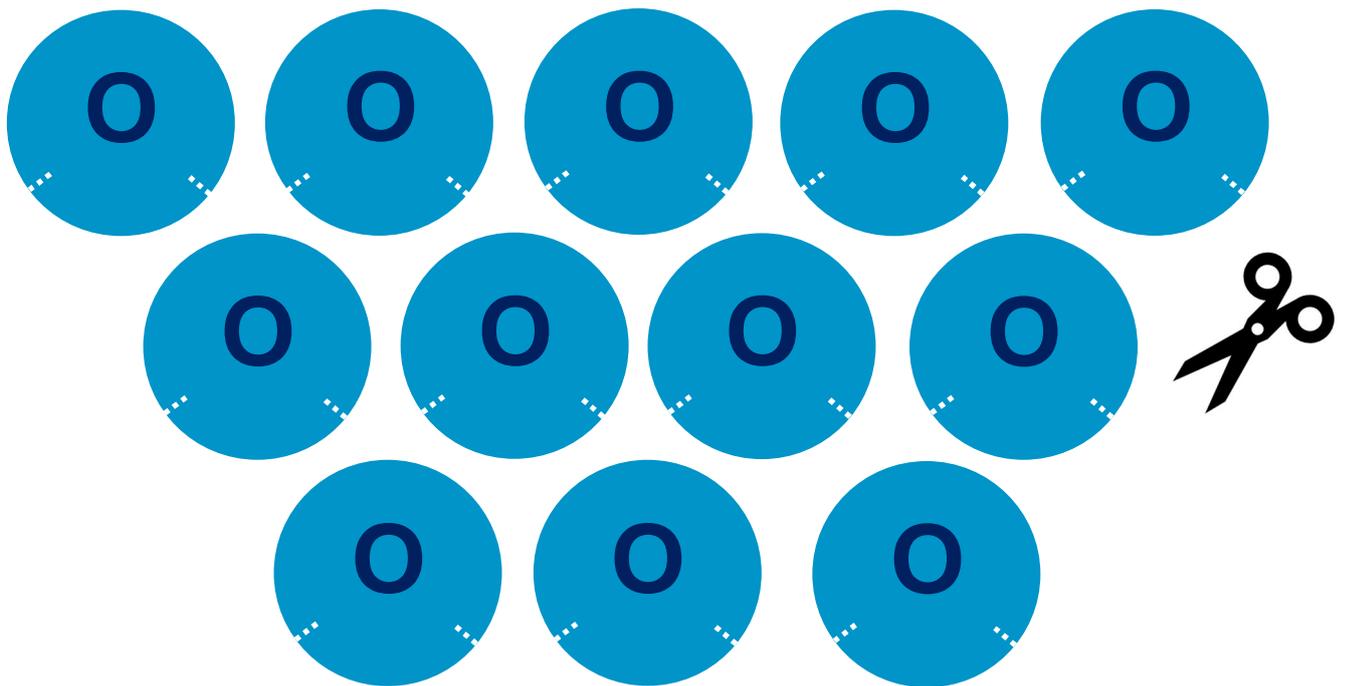
Wasser (H_2O) ist eine chemische Verbindung aus den Elementen Sauerstoff (O) und Wasserstoff (H). Wasser ist als Flüssigkeit durchsichtig, weitgehend farb-, geruch- und geschmacklos.

Nimm Dir zwei Wasserstoffatome und zwei Sauerstoffatome in deine Speicher.

⊗

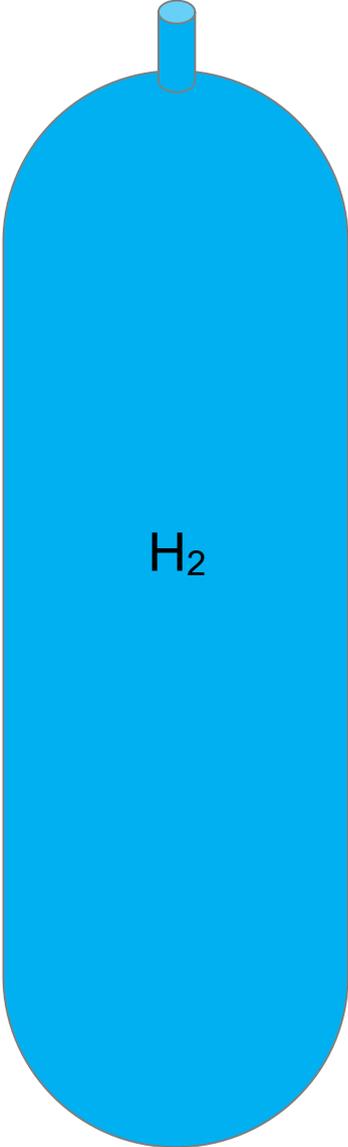


Vorlagen zum Ausschneiden



Bitte zweimal auf 200 g Papier ausdrucken.

Scorecard

Spielername	
Wasserstoffspeicher	Sauerstoffspeicher
 H_2	 O_2
Anzahl	
Wasserstoff pro Atom 8 Punkte	
Sauerstoff pro Atom 6 Punkte	
Punkte gesamt	

Hintergrundinformation

Die Energieversorgung in Deutschland durchläuft seit Beginn der 2000er-Jahre einen grundlegenden Wandel. Ein wesentlicher Treiber dieses Wandels ist das Ziel, klimaschädliche Emissionen – hauptsächlich von Kohlenstoffdioxid (CO₂) – aus dem Energiesystem zu senken. CO₂-Emissionen entstehen dadurch, dass fossile, aus der Erdkruste geförderte Kohle oder Kohlenwasserstoffe verbrannt werden.

Gemäß den EU-Zielen hat die Bundesregierung bereits 2010 beschlossen, die Emissionen in Deutschland bis 2050 um 80 bis 95 % gegenüber 1990 zu senken. Im Klimaschutzplan der Bundesregierung sind darüber hinaus Reduktionsziele für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr und Landwirtschaft festgelegt, die bis 2030 erreicht werden müssen. Neben der Senkung des Energieverbrauchs ist der Austausch von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien das zentrale Mittel auf dem Weg zu einem CO₂-neutralen Energiesystem.

Im deutschen Energieversorgungssystem spielt Erdgas eine tragende Rolle. Das gilt für die verschiedensten Sektoren. So liegt der Anteil von Erdgas am Energieverbrauch in den Endverbrauchssektoren Gewerbe und Industrie bei knapp einem Drittel. Die Hälfte der bestehenden Wohnungen in Deutschland wird mit Erdgas beheizt, in neu errichteten Gebäuden sind es 40 %.

In der Stromerzeugung besitzt Erdgas ebenfalls eine zentrale Rolle – Gaskraftwerke stellen einen Großteil der benötigten Flexibilität bereit. Erdgas ist damit ein wichtiger und integraler Bestandteil des Energieversorgungssystems in Deutschland. Infrastrukturen für den Transport, die Speicherung sowie die Umwandlung von Energie sind zum großen Teil auf die Nutzung von Erdgas ausgerichtet, ebenso Endverbrauchsgeräte wie z. B. Heizungen. Bei der Verbrennung von Erdgas entstehen CO₂-Emissionen. Im Zuge der angestrebten Dekarbonisierung des Energiesystems müssen diese Emissionen – wie auch die aller anderen Energieträger – vermieden oder neutralisiert werden.

Dies könnte theoretisch durch eine Umstellung des gesamten Energiesystems einschließlich aller Infrastrukturen und Endgeräte auf erneuerbaren Strom geschehen. Es setzt sich im energiepolitischen Diskurs jedoch zunehmend die Auffassung durch, dass die gesamte Bandbreite an zur Verfügung stehenden Ansätzen gebraucht wird, um die komplexe Aufgabe einer umfassenden Energiewende effizient umzusetzen.

Der Ansatz zunehmend grüner Gase hat im Hinblick auf das energiepolitische Ziel-dreieck – Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit – mehrere Vorteile. So würden die bestehenden Infrastrukturen und Endgeräte weiter genutzt, es könnten weiterhin große Energiemengen in den Gasspeichern zwischengelagert werden und durch eine höhere Diversität bei Technologien und

Energieträgern wurde sich auch die Resilienz des Energiesystems erhöhen. Die Industrie benötigt gasförmige Energieträger zudem für einige stofflichen Prozesse.

Wie kann also Wasserstoff oder Methan in großen Mengen erzeugt werden, um den Platz des Erdgases einzunehmen?

Die Experten sind sich einig, dass das unter dem Einsatz von vorzugsweise erneuerbarem Strom in einem Prozess, der als Elektrolyse bezeichnet wird, erreicht werden könnte. Im Fall der direkten Nutzung des Wasserstoffs würde dann Kohlenstoff gar keine Rolle mehr spielen, d. h. es wird weder bei der Herstellung CO_2 der Atmosphäre entnommen, noch wird bei der Verwendung CO_2 in der Atmosphäre freigesetzt.

Dieser Wasserstoff kann in Reinform in der Industrie – z. B. in der chemischen Industrie oder in Raffinerien – und im Verkehrssektor als Kraftstoff zum Einsatz kommen oder (in gewissen Grenzen) dem Erdgas beigemischt werden. Für eine unbegrenzte Einspeisung in das Erdgasnetz ist hingegen noch ein weiterer Aufbereitungsschritt nötig, bei dem der Wasserstoff mit Kohlenstoff zu Methan umgewandelt wird. Dieser Vorgang wird auch als Methanisierung bezeichnet.

Hier ist also wieder Kohlenstoff beteiligt, dennoch ist die Verbrennung des so erzeugten Methans klimaneutral – bei der Verbrennung des Methans wird nur so viel CO_2 freigesetzt wie zuvor zum Zweck der Methanisierung aus der Luft oder anderen CO_2 -Quellen entnommen wurde.

Wasserstoff-Elektrolyse

Wasserstoff (H) ist ein chemisches Element und in gebundener Form Bestandteil fast aller organischen Verbindungen. Unter normalen Umweltbedingungen kommt Wasserstoff in molekularer Form (H_2) als farb- und geruchloses Gas vor. Wasserstoff kann durch die Elektrolyse von Wasser unter Verwendung von Strom erzeugt werden. Dabei wird Wasser (H_2O) in einem Elektrolyseur in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten, indem eine elektrische Spannung angelegt wird.

Man nennt diesen Prozess auch Reduktions-Oxidations-Reaktion (Redoxreaktion). Sie ist eine chemische Reaktion, bei der ein Reaktionspartner Elektronen auf einen anderen Reaktionspartner überträgt. Der als Reduktionsmittel bezeichnete Partner (z. B. Wasserstoff) gibt Elektronen ab und wird dabei oxidiert. Der als Oxidationsmittel bezeichnete Partner (z. B. Sauerstoff) nimmt die Elektronen auf und wird dabei reduziert. Redoxreaktionen sind von grundlegender Bedeutung in der Chemie: Viele Stoffwechsel- und Verbrennungsvorgänge, technische Produktionsprozesse und Nachweisreaktionen basieren auf solchen Elektronenübertragungsreaktionen.

Zur Herstellung von Wasserstoff mittels Elektrolyse werden im Wesentlichen zwei Technologien angewendet: die alkalische Elektrolyse und die Polymer-Elektrolyt-

Membran-Elektrolyse (PEM)-Elektrolyse. Die alkalische Elektrolyse ist eine bewährte Technologie und wird schon seit vielen Jahrzehnten in der Industrie eingesetzt. Der Umwandlungswirkungsgrad von elektrischer in chemische Energie liegt bei diesem Verfahren bei 65 bis 75 %. Die PEM-Elektrolyse ist hingegen eine etwas jüngere Technologie mit niedrigeren Wirkungsgraden im Bereich zwischen 60 und 70 %. Im Vergleich zur alkalischen Elektrolyse besitzt die PEM-Elektrolyse allerdings Vorteile für die Aufnahme von fluktuierenden erneuerbaren Energien, da sie innerhalb von Sekunden gestartet werden kann und eine schnellere Leistungsanpassung möglich ist.

Neben der alkalischen und der PEM-Elektrolyse existiert zudem mit der Hochtemperatur-Dampfelektrolyse, auch SOEC-Elektrolyse genannt (SOEC = Solid Oxide Electrolysis Cell), eine weitere Technologie, die sich jedoch noch im Forschungsstadium befindet. Im Zuge der bestehenden Forschungsbemühungen sind in Zukunft weitere Wirkungsgradsteigerungen bei den Elektrolysetechnologien zu erwarten.

Wird bei dem Elektrolysevorgang Strom aus erneuerbaren Quellen eingesetzt, ist die Herstellung des Wasserstoffs komplett CO₂-frei, da neben dem erzeugten Wasserstoff lediglich Sauerstoff anfällt. Auch bei der späteren Verwendung fallen keinerlei klimawirksame Emissionen an, da keine Kohlenstoffverbindungen im Wasserstoff enthalten sind. Der Energiegehalt von Wasserstoff liegt, bezogen auf das Volumen, bei einem Drittel des Energiegehalts von Erdgas.

In Deutschland sind etwa 35 Elektrolyseure zur Herstellung von grünem Wasserstoff installiert. Bei diesen Anlagen handelt es sich jedoch zum Großteil um Demonstrations- und Forschungsprojekte. Eine zentrale Zielstellung von Forschungs- und Entwicklungsbemühungen ist die Senkung der Systemkosten.

Verwendung von Wasserstoff

Wasserstoff ist ein vielseitig nutzbarer Energieträger, für den es unterschiedliche Anwendungen gibt. Eine Möglichkeit besteht in der stofflichen Nutzung bei Industrieprozessen wie der Stahlherstellung. Dabei geht es vor allem darum, fossil erzeugten durch grünen Wasserstoff zu ersetzen.

Daneben ist die energetische Nutzung von Wasserstoff mittels Brennstoffzelle möglich. In der Brennstoffzelle läuft der Elektrolyseprozess in entgegengesetzter Richtung ab, d. h. es wird Wasserstoff mit Sauerstoff in Verbindung gebracht. Dabei entstehen Strom, Wärme und als Nebenprodukt Wasser. Brennstoffzellen eignen sich sowohl für stationäre Anwendungen, z. B. zur Strom- und Wärmeproduktion im Haushalt, als auch für den mobilen Einsatz, also als Stromlieferant in elektrisch betriebenen Fahrzeugen.

Wasserstoff kann zudem in das Gasnetz eingespeist werden. Allerdings ist dies nicht unbegrenzt möglich, da andernfalls u. a. die brenntechnischen Eigenschaften des Mischgases im Gasnetz so sehr verändert werden, dass dies zu Problemen bei einigen angeschlossenen Anwendungen führen könnte. Die Begrenzung des Wasserstoffanteils ergibt sich im Wesentlichen aus den an das Gasnetz angeschlossenen Endverbrauchern.

Besondere Beschränkungen bestehen z. B. bei Erdgastankstellen (zurückzuführen auf einen Teil der Tanks in den Erdgasfahrzeugen), Gasturbinen, untertägigen Erdgasspeichern und bei sensiblen Industrieanwendungen wie der Glasherstellung. Sind keine solchen Anwendungen an das Gasverteilnetz angeschlossen, wird ein Wasserstoffanteil von bis zu zehn Volumenprozent als unbedenklich angesehen. Aktuell werden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, um einen höheren Anteil an eingespeistem Wasserstoff zu ermöglichen.

Methanisierung von Wasserstoff

Für eine uneingeschränkte Einspeisung des elektrisch erzeugten Wasserstoffs in das Gasnetz ist eine nachgeschaltete Methanisierung notwendig. Dies erfolgt durch einen thermochemischen Prozess, bei dem Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff in Methan umgewandelt werden. Neben dem standardmäßigen Verfahren, bei dem ein metallischer Katalysator verwendet wird, existieren auch biologische Methanisierungsmöglichkeiten unter Einsatz von Mikroorganismen.

Das für die Methanisierung benötigte CO₂ kann aus der Umgebungsluft absorbiert werden (Air Capture). Außerdem ist die Verwendung von Kohlenstoffdioxid möglich, welches bei der Biomethan-Aufbereitung entsteht. Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Wasserstoff in Methan liegt im Bereich zwischen 70 und 85 %.

Das erzeugte Methan weist die gleichen Eigenschaften wie Erdgas auf und wird daher auch als synthetisches Erdgas (SNG = Synthetic Natural Gas) bezeichnet. Eine Einspeisung in das Erdgasnetz ist ohne Einschränkungen möglich. In Deutschland haben im Jahr 2017 sechs Anlagen synthetisches Erdgas eingespeist.